

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

0 335 176
A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 89104608.8

(51) Int. Cl.⁴: G02B 5/28

(22) Date de dépôt: 15.03.89

(30) Priorité: 22.03.88 FR 8803700

(43) Date de publication de la demande:
04.10.89 Bulletin 89/40

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE ES FR GB IT LI NL SE

(71) Demandeur: **COMPAGNIE GENERALE**
D'ELECTRICITE Société anonyme dite:
54, rue La Boétie
F-75382 Paris Cédex 08(FR)

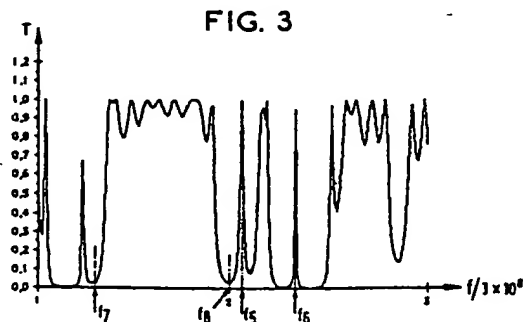
(72) Inventeur: Chabassier, Geneviève
141 rue d'Alésia
F-75014 Paris(FR)
Inventeur: Gabrilaques, Jean-Michel
2bis allée des Tilleuls
F-91290 La Norville(FR)
Inventeur: Hellodore, Frédéric
19 rue Bardinet
F-75014 Paris(FR)
Inventeur: Le Mehaute, Alain
Allée Bannière de Maupertuis
F-91190 Gif sur Yvette(FR)
Inventeur: Mouchart, Jacques
34 avenue du Général Leclerc
F-94240 L'Hay les Roses(FR)
Inventeur: Sautet, Philippe
5 rue La Fontaine
F-78190 Trappes(FR)

(74) Mandataire: Weinmiller, Jürgen et al
Lennéstrasse 9 Postfach 24
D-8133 Feldafing(DE)

(54) Dispositif de filtrage électromagnétique.

EP 0 335 176 A1

(57) Dispositif de filtrage optique comportant un empilement de couches minces présentant une séquence f définissant une organisation fractale. Ce dispositif permet d'obtenir des raies extrêmement fines et très bien résolues.



Dispositif de filtrage électromagnétique

La présente invention concerne un dispositif de filtrage électromagnétique.

Dans le domaine des ondes lumineuses les dispositifs de filtrage optique connus sont des filtres interférentiels basés sur le principe de l'empilement de couches minces dont la réalisation est rendue possible notamment par les techniques modernes d'évaporation sous vide. Il peut s'agir de couches minces en matériau métallique ou diélectrique, dont l'épaisseur peut être extrêmement variable, de quelques nanomètres à plusieurs microns.

On sait actuellement réaliser des filtres à bande très étroite, comme par exemple les filtres Fabry-Pérot, permettant de sélectionner des raies dont la largeur peut descendre jusqu'à quelques nanomètres avec leurs harmoniques ; de tels filtres comportent au moins une vingtaine de couches (en $\lambda/4$) ainsi que des cavités Fabry Pérot (en $\lambda/2$) en série.

On sait réaliser également des filtres pour lesquels la transmission de deux raies préalablement fixées soit identique, l'une n'étant pas l'harmonique de l'autre, mais on ne sait pas simplement aller au delà.

Par ailleurs, on sait fabriquer couramment des filtres passe-haut et des filtres passe-bas. On sait faire plus difficilement des filtres passe-bandes appelés "filtres-moins", plus complexes qui permettent d'éliminer une bande dans un domaine spectral déterminé. On ne sait pas réaliser un filtre à plusieurs bandes passantes.

Pour une incidence oblique, on peut également changer l'état de vibration rectiligne, circulaire ou elliptique d'un faisceau lumineux avec l'utilisation de dépôts déphasants, ou même séparer spatialement deux directions perpendiculaires de vibration par l'utilisation de dépôts polarisants comme le font par exemple les cubes polariseurs de Mac Neille.

La présente invention a pour but de réaliser un dispositif de filtrage permettant de disposer d'une raie de transmission extrêmement étroite sans émission dans le voisinage immédiat, c'est-à-dire bien isolée dans le spectre, ou de disposer de plusieurs raies qui ne soient pas des harmoniques les unes des autres, ou de disposer de plusieurs bandes qui ne soient pas des harmoniques les unes des autres.

La présente invention a pour objet un dispositif de filtrage électromagnétique comportant un empilement de cavités électromagnétiques sous forme de couches caractérisé par le fait que l'on part d'une première cavité A de fréquence propre ω_0 et d'une seconde cavité B de fréquence propre ω_1 et que l'empilement de couche A_n , n étant supérieur à 1, présente une séquence f telle que :

$$\begin{aligned} A_1 &= f(A, B) & B_1 &= g(A, B) \\ A_2 &= f(A_1, B_1) & B_2 &= g(A_1, B_1) \\ \hline A_n &= f(A_{n-1}, B_{n-1}) & B_n &= g(A_{n-1}, B_{n-1}) \end{aligned}$$

ledit empilement présentant ainsi une organisation fractale.

On peut, à titre d'exemple obtenir les empilements A_n suivants :

$A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1}$ avec
 $B_n = B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}, A_1 = ABA$ et $B_1 = BBB$
ou $A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1}$
avec $B_n = A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1}, A_1 = ABA$ et $B_1 = AAA$
ou $A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1}$
avec $B_n = B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}, A_1 = ABABA, B_1 = BBBBB$
ou $A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1}$
avec $B_n = A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1}, A_1 = ABABA, B_1 = AAAAA$
ou $A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} B_{n-1}$
avec $B_n = B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}, A_1 = ABAB, B_1 = BBBB$
ou $A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} B_{n-1}$
avec $B_n = A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1}, A_1 = ABAB, B_1 = AAAA$
ou $A_n = A_{n-1} A_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}$
avec $B_n = B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}, A_1 = AABB$ et $B_1 = BBBB$

ou $A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} B_{n-1}$

avec $B_n = A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1, A_1} = ABAB$, $B_1 = AAAA$

ou $A_n = A_{n-1} A_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}$.

avec $B_n = B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1, A_1} = AABB$ et $B_1 = 8888$

5 ou $A_n = A_{n-1} A_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}$

avec $B_0 = A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1} A_1 = A A B B$ et $B_1 = A A A A$

Les valeurs des fréquences propres ω_0 et ω_1 sont définies par l'épaisseur e_A , e_B et l'indice n_A , n_B de la cavité correspondante A,B.

Le premier empilement selon l'invention est l'empilement d'ordre 2.

10 Ainsi pour un dispositif à empilement d'ordre 2 on aura par exemple la succession de filtres suivants :

$A_2 = A_1 B_1 A_1 = ABABBBABA$, correspondant à sept couches superposées $B_2 = BBBBBBBBB$, correspondant à une couche.

Pour un dispositif à empilement d'ordre 3, on aura la succession de filtres suivants :

$A_3 = A_2 B_2 A_2 = ABABBBBABBBBBBBBBBBA BABBBABA$ (avec 15 couches)

15 $B_3 = B_2 \ B_2 \ B_2 =$ **BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB** (avec 1 couche) etc...

Les filtres A_2, A_3, A_n , constituent des exemples d'empilements à organisation fractale.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront au cours de la description suivante de modes de réalisation donnés à titre illustratif mais nullement limitatif.

20 - La figure 1 montre les variations de l'énergie T transmise par un filtre de l'art antérieur de type ABA en fonction de la fréquence f normalisée du faisceau incident.

- Les figures 2, 3, 4 sont des vues analogues à celles de la figure 1, mais respectivement pour des filtres selon l'invention, respectivement d'ordre 2, 3, 4.

- La figure 5 est une vue analogue à celle de la figure 1, pour un filtre de l'art antérieur de type ABABA.

25 - La figure 6 est analogue à la figure 2 pour un filtre selon l'invention d'ordre 2, mais présentant l'empilement ABABABBBBBBABABBBBBBABABA.

- La figure 7 est analogue à la figure 6 pour un filtre selon l'invention d'ordre 3.

- Les figures 8A et 8B sont analogues à la figure 7 pour un filtre selon l'invention d'ordre 4.

- La figure 9 est un diagramme appelé "attracteur étrange" et visualisant pour un filtre ABA8BBABA

30 d'ordre 2 les variations des transmissions des fréquences en fonction des variations de l'indice optique de B par rapport à l'indice optique de A.

On part d'un filtre A d'indice $n_A = 2,4$, d'un filtre B d'indice $n_B = 1,35$.

Les épaisseurs de A et B sont choisies de manière que $\omega_0 = \omega_1$. On réalise un filtre selon l'art antérieur
35 A₁ = ABA, dont l'épaisseur optique totale est égale à 10 microns.

Les fréquences f sont normalisées par le facteur 3×10^8 . On observe dans la figure 1 que la bande passante sur l'énergie fondamentale, c'est-à-dire harmoniques exclus, est comprise entre f_1 et f_2 et qu'il apparaît dans le spectre une périodicité que l'on ne veut pas.

La résolution est très moyenne et on ne voit pas de bandes isolées.

40 La figure 2 correspond à la transmission d'un filtre d'ordre 2, c'est-à-dire correspondant à un empilement selon l'invention ABABBBABA d'épaisseur optique totale égale à 10 microns. L'épaisseur du filtre A est alors $e_A = 0,469 \mu\text{m}$ et l'épaisseur du filtre B est $e_B = 0,823 \mu\text{m}$.

Il apparaît sur les bords des raies fines f_3 , f_4 dont la largeur est de 1600\AA , et qui sont très bien résolues.

La figure 3 correspond à la transmission d'un filtre d'ordre 3, c'est-à-dire correspondant à l'empilement
 45 ABABBBABABBBBBSBBBABABBBABA d'épaisseur optique totale égale à 10 microns. L'épaisseur du filtre
 A est alors $e_A = 0,154 \mu m$ et l'épaisseur du filtre B est $e_B = 0,274 \mu m$. La finesse des raies s'accroît et
 l'on observe en particulier deux raies bien indépendantes l'une de l'autre f_5 et f_6 , cette dernière étant
 particulièrement bien résolue. La largeur de raie est de 53 \AA .

En outre on voit apparaître une bande passante très bien résolue entre f_7 et f_8 .

50 Le résultat est encore plus significatif à la figure 4 où l'on voit la transmission d'un filtre d'ordre 4 pour lequel $e_A = 514 \text{ \AA}$ et $e_B = 914 \text{ \AA}$. Des raies très bien isolées aux fréquences f_9, f_{10}, f_{11} , présentant des largeurs très inférieures à 10 \AA .

On réalise ensuite un dispositif de filtrage comportant un autre type d'empilement de l'art antérieur ABABA. On part toujours d'un filtre A d'indice optique 2,4 et d'un filtre B d'indice optique 1,35. On réalise un filtre d'épaisseur optique globale égale à 10 microns, l'épaisseur du filtre A étant de 1,64 μ et celle du filtre B étant de 2,537 μ .

La figure 5 montre la transmission de ce filtre qui présente une mauvaise résolution.

La figure 6 correspond à un filtre selon l'invention d'ordre 2, c'est-à-dire comportant l'empilement :

ABABABBBBBBABABBBBBBABABA sur une épaisseur optique de 10 microns. L'épaisseur de la couche A est de 0,269 μ et celle de la couche B de 0,416 μ . On voit apparaître des raies isolées aux fréquences f_{12} et f_{13} qui ne sont pas des harmoniques l'une de l'autre, et de belles bandes passantes.

La figure 7 correspond à un filtre présentant la même séquence que la figure 6 mais d'ordre 3. L'épaisseur de la couche A est alors de 440 Å et celle de la couche B de 1060 Å. On voit apparaître des raies très fines au bord du spectre aux fréquences f_{14} et f_{15} ; ces raies sont très bien résolues. Des bandes bien séparées apparaissent également.

Ce phénomène est également visible dans les figures 8A et 8B où l'on a un filtre de même séquence, mais d'ordre 4. Dans ce cas l'épaisseur de A est de 100 Å et l'épaisseur de B de 110 Å. On remarque les raies f_{14} , f_{15} , f_{16} .

On peut voir dans la figure 9 comment varient les fréquences transmises en fonction de la variation du rapport des indices de A et de B. Le diagramme obtenu est un attracteur étrange. Cette variante correspond à un filtre d'ordre 2, comme celui de la figure 2, avec une couche A d'indice égal à 2,4 et une couche B avec un indice variant (en abscisse) de 1,2 à 9.

Quand la transmittance est supérieure à 0,7, on a un point noir si elle est inférieure on a du blanc.

On voit que dans certaines zones d'indices, il est plus aisé de sélectionner les fréquences. La connaissance de l'attracteur étrange permet d'établir la valeur relative des indices permettant de localiser une bande choisie.

Bien entendu l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui ont été décrits ci-dessus, en particulier l'invention n'est pas limitée au filtrage des longueurs d'ondes optiques. Par ailleurs l'application de la séquence porte soit sur les épaisseurs géométriques des couches, soit sur les épaisseurs optiques de ces couches.

Enfin il est possible de changer les épaisseurs des couches par compression ou laminage, ou autre, de l'ensemble formé à l'ordre n.

Revendications

1/ Dispositif de filtrage électromagnétique comportant un empilement de cavités électromagnétiques sous forme de couches, caractérisé par le fait que l'on part d'une première cavité A de fréquence propre ω_0 et d'une seconde cavité B de fréquence propre ω_1 et que l'empilement A_n , avec n supérieur à 1, présente une séquence f telle que:

$$\begin{array}{ll} A_1 = f(A, B) & B_1 = g(A, B) \\ A_2 = f(A_1, B_1) & B_2 = g(A_1, B_1) \\ \hline A_n = f(A_{n-1}, B_{n-1}) & B_n = g(A_{n-1}, B_{n-1}) \end{array}$$

ledit empilement présentant ainsi une organisation fractale.

2/ Dispositif de filtrage selon la revendication 1, caractérisé par le fait que ladite séquence f est telle que :

$$\begin{array}{l} A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} \text{ avec} \\ B_n = B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}, A_1 = ABA \text{ et } B_1 = BBB \\ \text{ou } A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} \\ \text{avec } B_n = A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1}, A_1 = ABA \text{ et } B_1 = AAA \end{array}$$

3/ Dispositif de filtrage selon la revendication 1, caractérisé par le fait que ladite séquence f est telle que :

$$\begin{array}{l} A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} \\ \text{avec } B_n = B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}, A_1 = ABABA, B_1 = BBBBB \\ \text{ou } A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} \\ \text{avec } B_n = A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1}, A_1 = ABABA, B_1 = AAAAA \end{array}$$

4/ Dispositif de filtrage selon la revendication 1, caractérisé par le fait que ladite séquence f est telle que :

$$A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} A_{n-1}$$

avec $B_n = B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}$, $A_1 = ABAB$, $B_1 = BBBB$

ou $A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} B_{n-1}$

avec $B_n = A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1}$, $A_1 = ABAB$, $B_1 = AAAA$

5/ Dispositif de filtrage selon la revendication 1, caractérisé par le fait que ladite séquence f est telle

5 que :

$A_n = A_{n-1} A_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}$

avec $B_n = B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}$, $A_1 = AAB B$ et $B_1 = BBBB$

ou $A_n = A_{n-1} B_{n-1} A_{n-1} B_{n-1}$

avec $B_n = A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1}$, $A_1 = ABAB$, $B_1 = AAAA$ 6/ Dispositif de filtrage selon la revendication 1,

10 caractérisé par le fait que ladite séquence f est telle que :

$A_n = A_{n-1} A_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}$,

avec $B_n = B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}$, $A_1 = AAB B$ et $B_1 = BBBB$

ou $A_n = A_{n-1} A_{n-1} B_{n-1} B_{n-1}$

avec $B_n = A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1} A_{n-1}$, $A_1 = AAB B$ et $B_1 = AAAA$

15 7/ Dispositif de filtrage selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que ladite séquence f s'applique sur les épaisseurs géométriques desdites couches.

8/ Dispositif de filtrage selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé par le fait que ladite séquence f s'applique sur les épaisseurs optiques desdites couches.

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG. 1

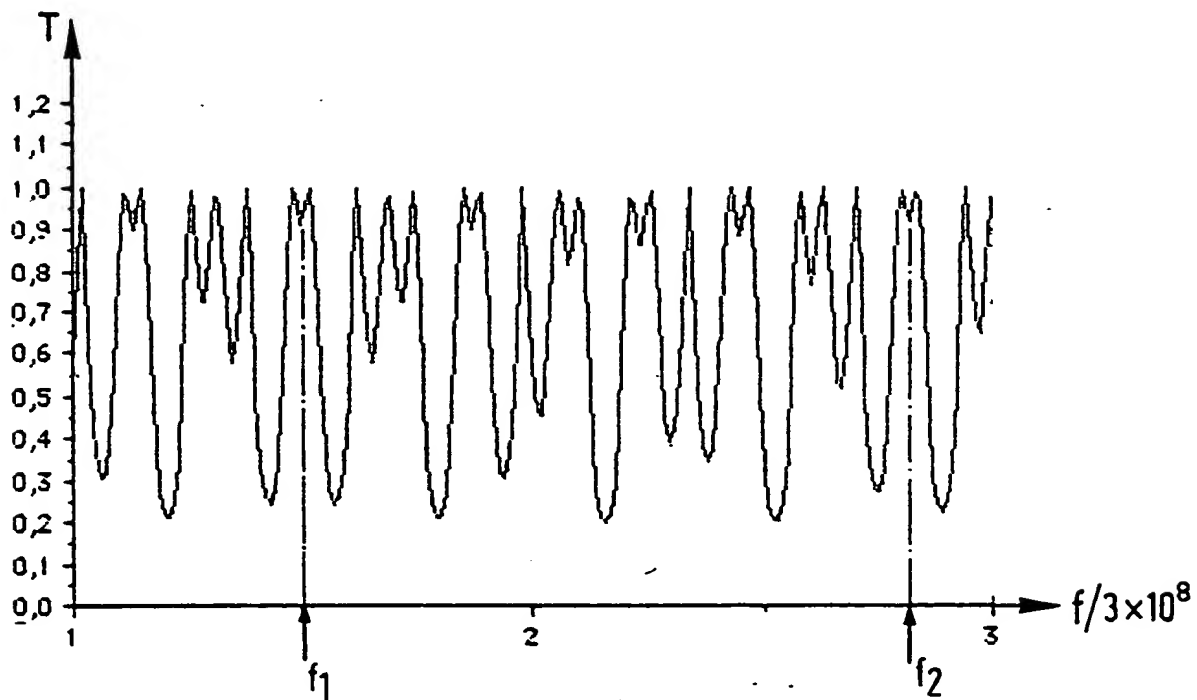


FIG. 2

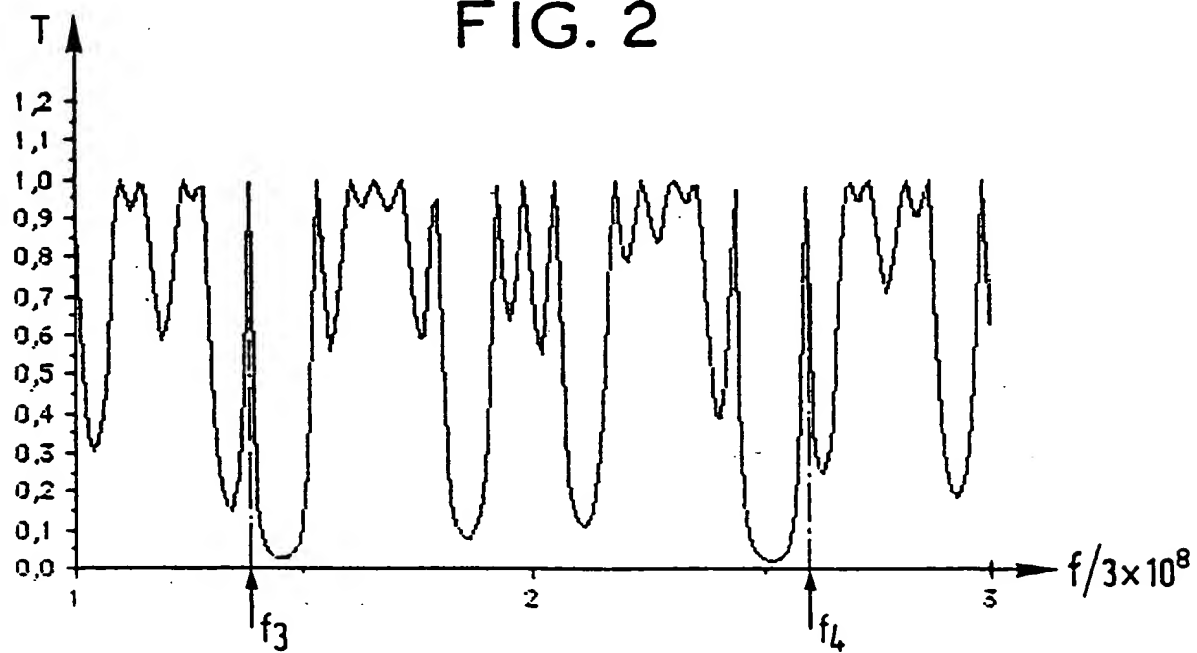




FIG. 3

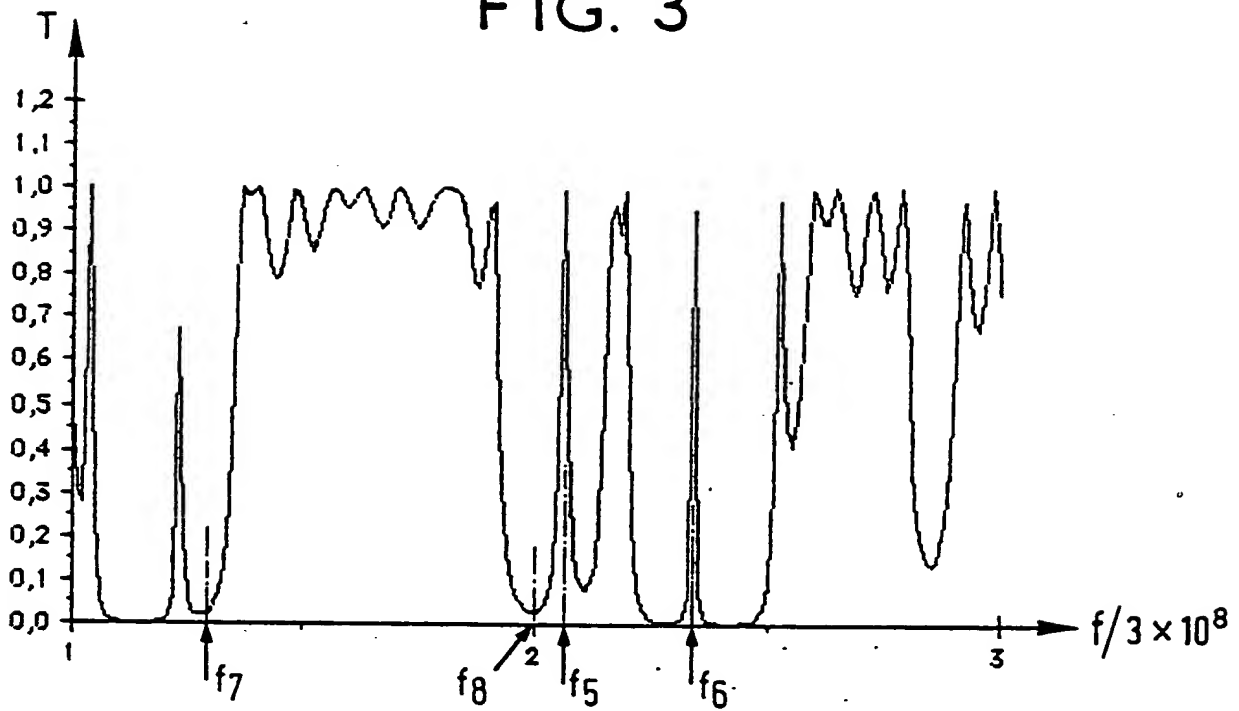


FIG. 4

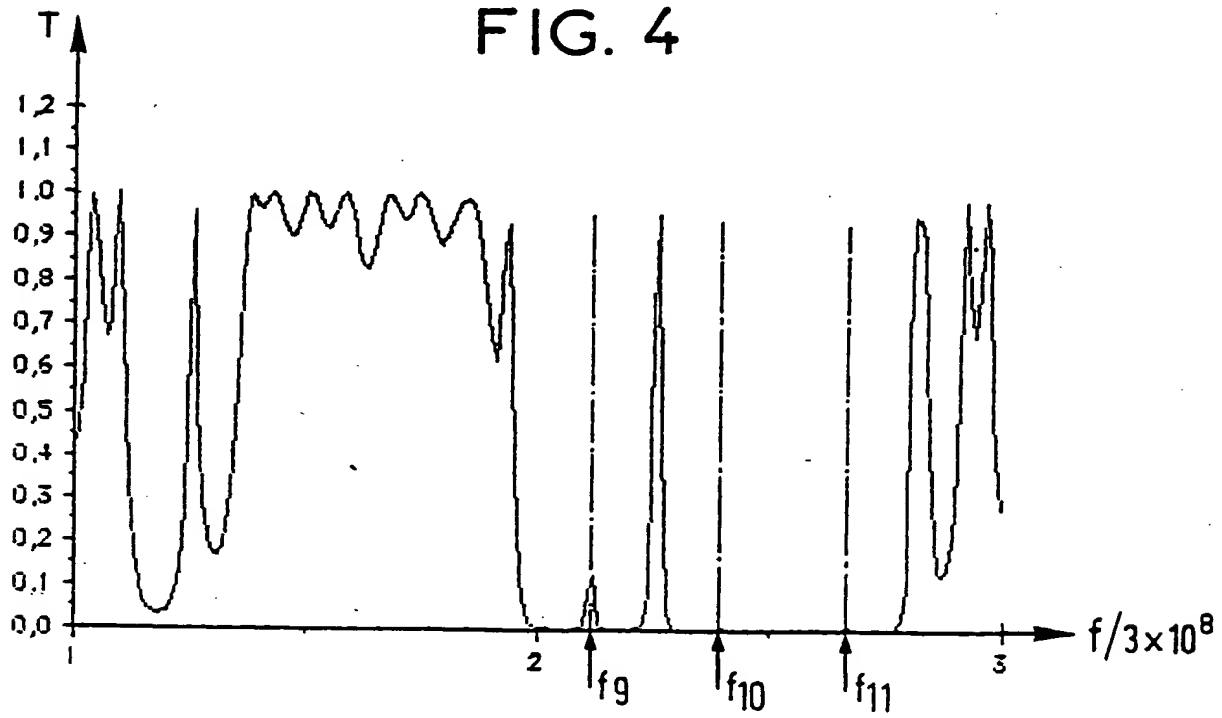


FIG. 5

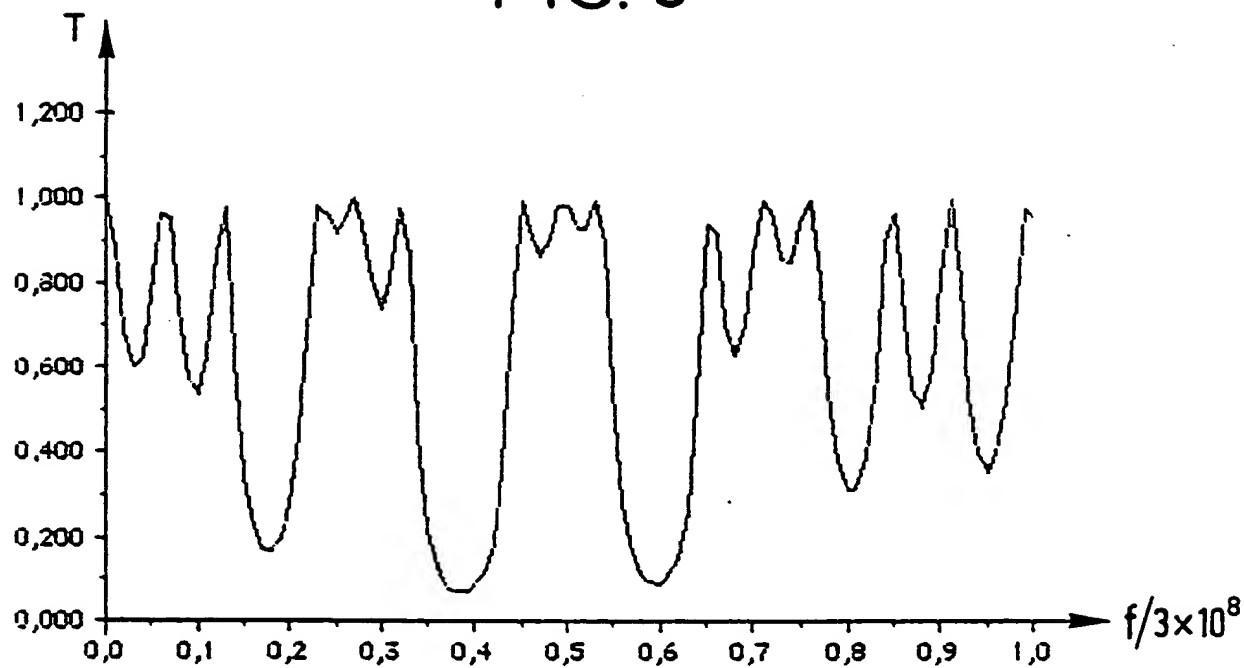
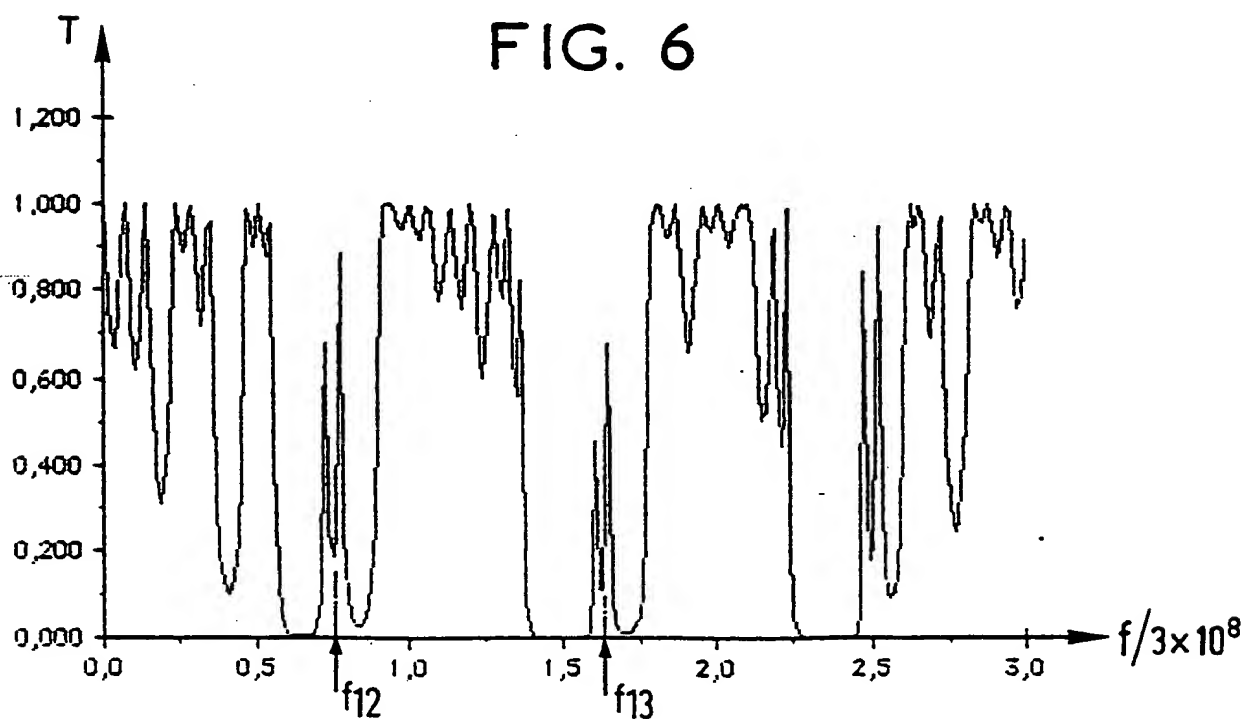
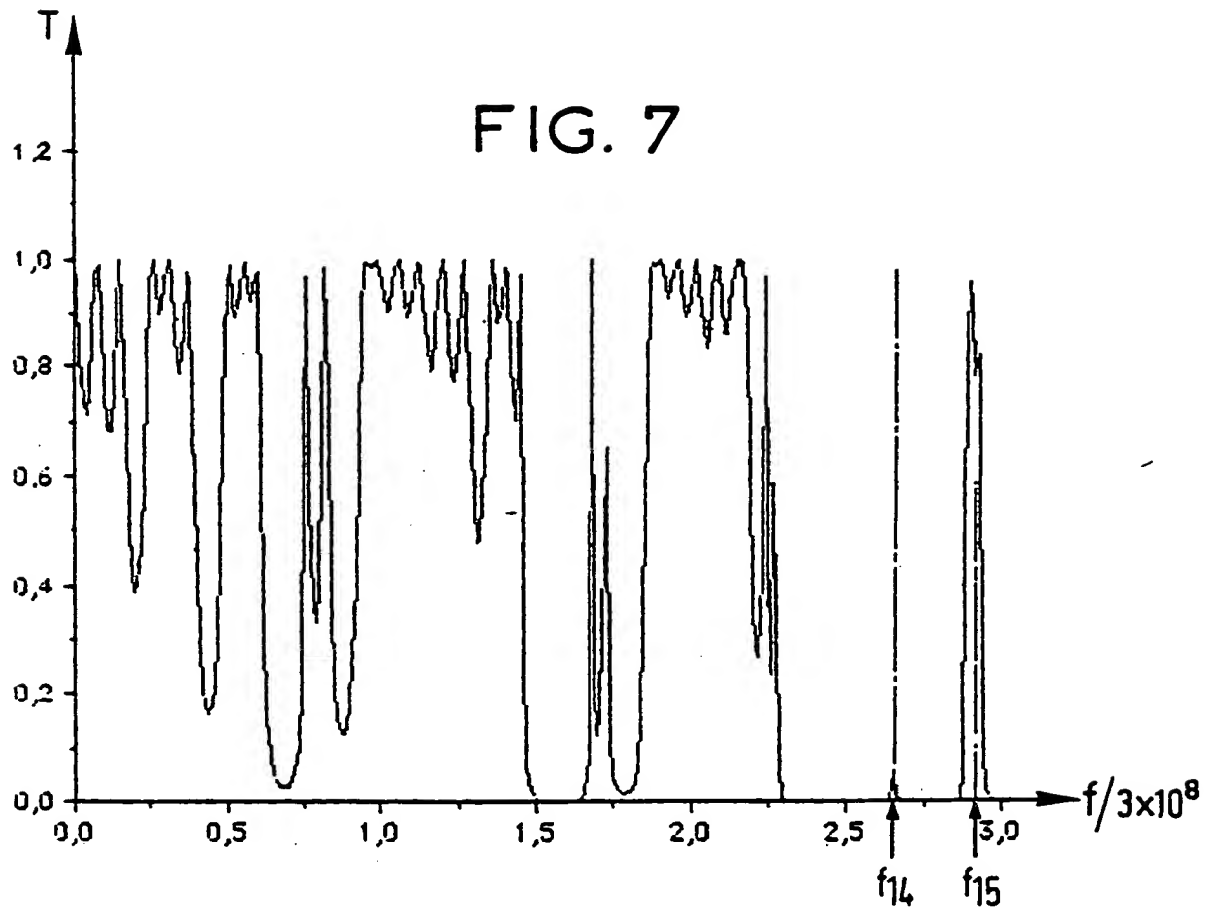
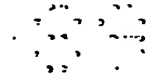


FIG. 6





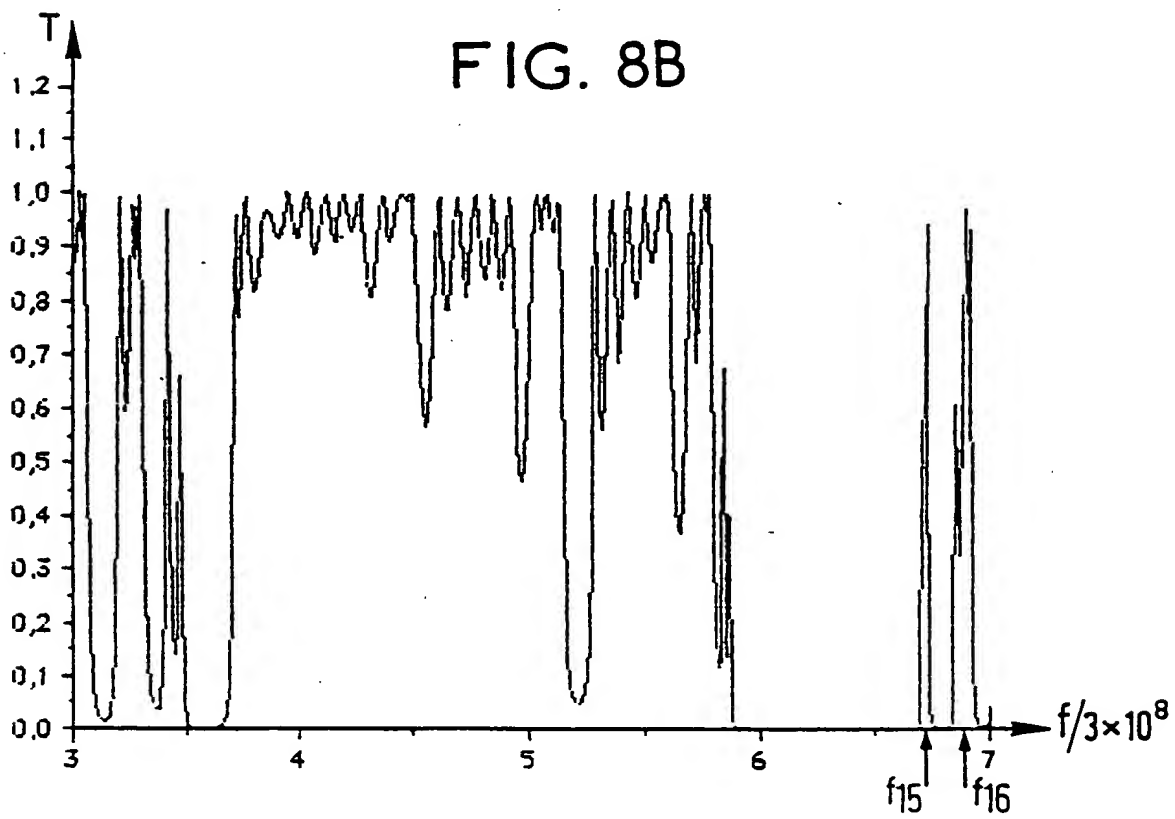
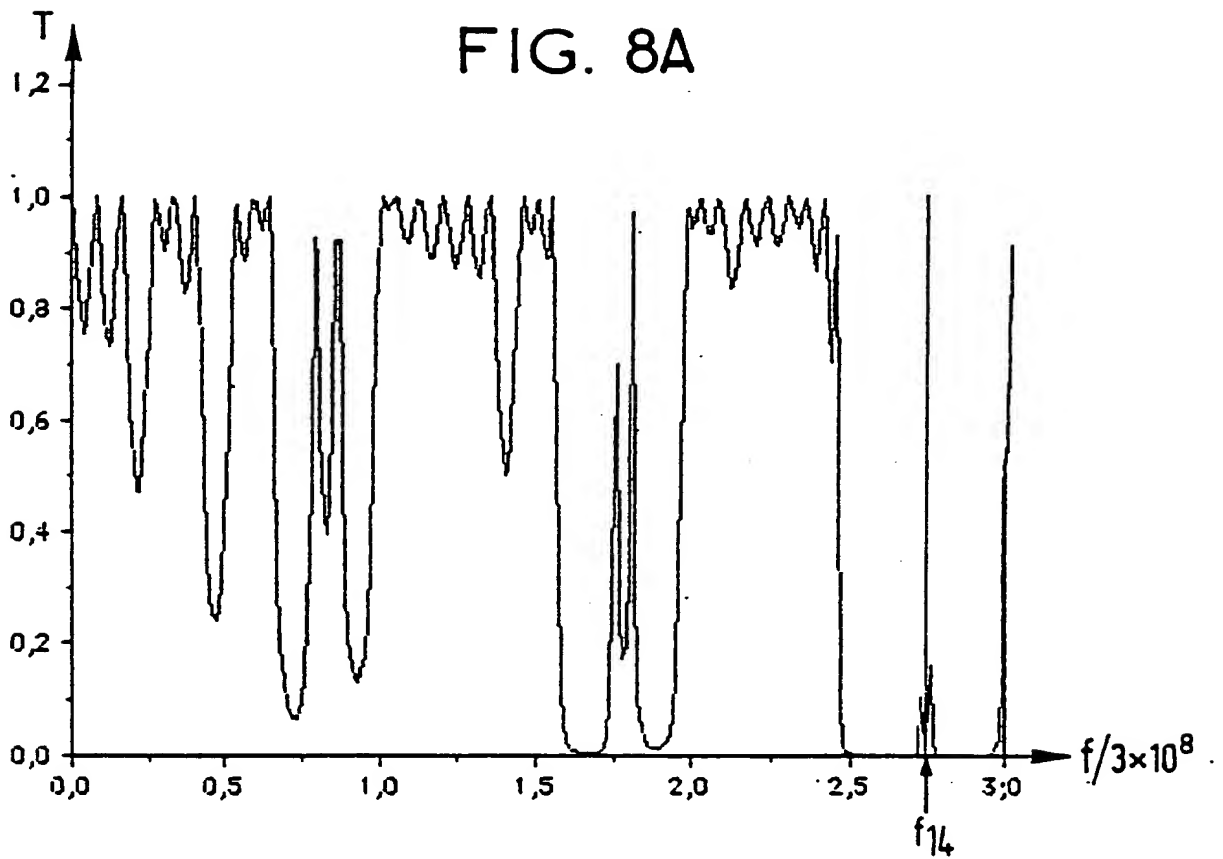
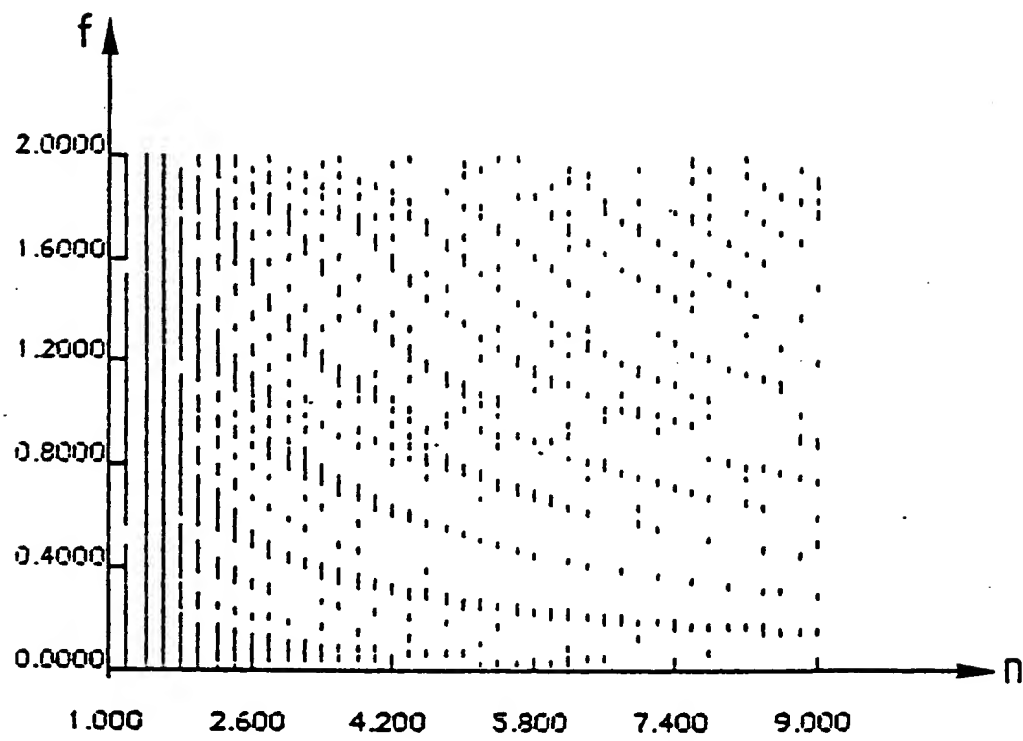




FIG. 9





DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
X	OPTICS AND SPECTROSCOPY, vol. 31, no. 1, juillet 1971, pages 71-75; F.A. KOROLEV et al.: "High-contrast light filters with multilayer dielectric coatings" * Résumé; tableaux 1,2; "Introduction"; page 72, colonne de gauche, lignes 8-21; page 72, colonne de droite, lignes 1-22 *	1,7,8	G 02 B 5/28
X	JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, vol. 72, no. 6, juin 1982, pages 683-687, Optical Society of America, New York, US; E. PELLETIER et al.: "Interference filters with multiple peaks" * Figures 2-4; résumé; page 683, colonne de droite, lignes 1-19; page 683, colonne de droite, lignes 5-19; page 684, colonne de droite, lignes 9-13,34-39 *	1,7,8	
Y	APPLIED OPTICS, vol. 26, no. 20, 15 octobre 1987, pages 4487-4490, Optical Society of America, New York, US; H.G. LOTZ: "Computer-aided multilayer design of optical filters with wide transmittance bands using SiO ₂ and TiO ₂ " * Résumé; page 4487, colonne de droite, lignes 7-14; page 4488, colonne de gauche, lignes 1-9; page 4489, colonne de gauche, lignes 1-8 *	1,7,8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4) G 02 B G 02 F
A	IDEM --- -/-	1-8	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lien de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 03-07-1989	Examineur VAN DOREMALEN, J.C.H.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
Y	JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, vol. 53, no. 11, novembre 1963, pages 1266-1270, New York, US; A. THELEN: "Multilayer filters with wide transmittance bands" * Résumé; figures 1,3; page 1266, colonne de gauche, lignes 19-34; page 1270, colonne de gauche, lignes 1-13 * -----	1,7,8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 03-07-1989	Examineur VAN DOREMALEN, J.C.H.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		I : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	